研究題目名　　課題番号：3G-2001　体系的番号：JPMEERF20203G01

地域産業と連携した下水汚泥肥料の事業採算性の高い循環システムの構築

重点課題⑩：地域循環共生圏形成に資する廃棄物処理システムの構築に関する研究・技術開発

行政ニーズ(3-5)：地域循環共生圏の形成に向けたバイオマス廃棄物等を対象とした処理プロセスのより一層の高度化に関する研究

研究代表機関：鹿児島工業高等専門学校

研究代表者：山内正仁

研究実施期間：2020年4月～2023年3月

研究分担機関：鹿児島県農業開発総合センター
産業技術総合研究所

1.研究開発背景

下水処理場

→ 人間活動、生産活動によって発生した汚水を衛生的に処理する施設

→ 質・量ともに安定した**バイオマス**が多量に排出

↓ 下水汚泥 等

食料生産に利用する取り組み（BISTRO下水道）が産学官民の連携により盛んに行われている。

16道府県
29市町村

下水汚泥肥料
再生水
CO_2・下水熱

BISTRO下水道や下水道法の改正などにより汚泥の地域内での利用が進み、10年以前と比較して50～70千トン増加

下水汚泥発生量も増加

$$\frac{331\text{千トン}}{2{,}341\text{千トン}} \quad (14.1\%)$$

[国交省：2019年度]

下水汚泥の農業への利用率向上は見られない。

1.研究開発背景

下水汚泥の農業利用率が向上しない理由

【課題1】 水分を含むと泥状になり易く、利用者側にとって使い勝手が悪い。

【課題2】 重金属含有量が牛糞堆肥、化成肥料等と比べ格段に高く、「汚泥肥料＝重金属＝危険」というイメージが先行。

【課題3】 葉菜類、果菜類の単年作物への利用、牧草への農地還元が主であり、利用用途が少ない。

【課題4】 地域の一次産業と密接に連携し、下水汚泥肥料の特性（高窒素・低カリウム）を最大限活用した取り組みが行われていない。

N

K

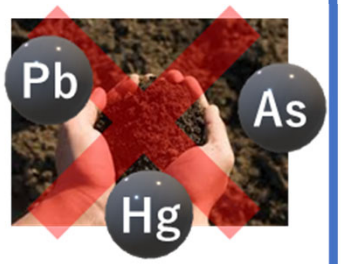
1.研究開発背景

課題1　課題2

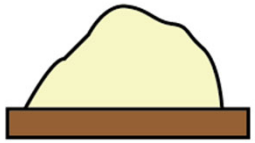
- 保水性が悪く、使い勝手が悪い
- 重金属濃度が高く、「危険」イメージが先行

イチゴ栽培

意見交換会開催



解決策 [国土交通省下水道応用研究(H.29－30)]


竹おが屑
米ぬか

地域未利用資源

焼酎粕

（脱水汚泥）

脱水汚泥に地域バイオマスを各種割合で混合

小型肥料化装置

条件的嫌気（無酸素供給）

新規下水汚泥肥料の最適配合割合

脱水汚泥：40%
竹おが屑：30%
米糠：20%
甘藷焼酎粕：10%

新規下水汚泥肥料の調製に成功

利用者側の意見反映（顧客ニーズと一致）

新規下水汚泥肥料の量産化は未検討

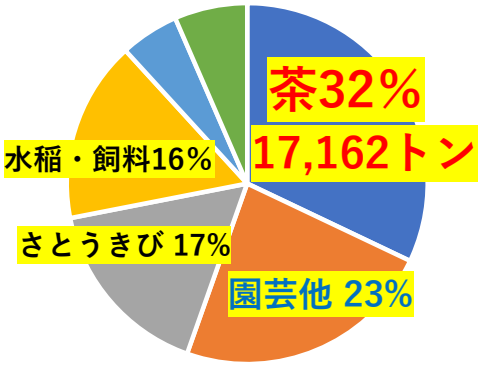
1.研究開発背景

課題3　課題4

- 野菜類、芋類などの単年作物への利用が主であり、利用用途が少ない。
- 下水汚泥肥料の特性（高窒素・低カリウム）を最大限活用した取り組みが存在しない。地域産業との連携がない。

鹿児島県（2021年度）　荒茶生産量：26,500トン【全国シェアの34%】
茶栽培面積：8,300ha ⟶ 霧島市：595ha（120経営体）

- 必要有機質資材：50～70kgN/10a/年
  40～60万円/ha/年の肥料費 ▶ 茶農家の経営を圧迫
- 堆肥施用、整せん枝残さの刈捨て等による土壌中のカリウムの蓄積が進み、安価な高N・低K肥料が求められている



JA鹿児島県経済連
肥料販売実績（2020年度）

下水汚泥肥料：微生物由来のNが多く、Kが少ない
▼
従来の有機質資材の代替として活用できる可能性大

茶産業との連携 ▶ 下水汚泥の利用率向上につながる

2.研究開発目的

国土交通省下水道応用研究で得られた成果を基に、地域バイオマスの利用を通して、顧客ニーズに合致した新たな下水汚泥肥料を量産化（サブテーマ1）し、これを地域の茶産業に適用（サブテーマ2）して事業採算性の高い地域循環システムを構築する。

サブテーマ1：新規下水汚泥肥料量産化技術の開発

- 小型肥料化装置の1,000倍量のスケールで新規下水汚泥肥料の製造および性能（無機化率）の再現性を検証する。

サブテーマ2：新規下水汚泥肥料を用いた茶栽培試験

- 有機質資材の代替としての利用可能か、茶葉収量・品質から評価。
- 新規下水汚泥肥料由来の窒素、重金属の茶樹・茶葉、土壌への影響を調査。

【下水汚泥堆肥（肥料）の施用ガイドライン（鹿児島県農政部：平成6年から引用）】
下水汚泥堆肥（肥料）は多量の重金属を含んでいることや消石灰混入による高pHであること等から、茶園には原則、施用しない。

上記ガイドラインにより、下水汚泥肥料を茶栽培に施用した事例はなく、本研究は挑戦的・意欲的な取り組みである。

3.研究目標及び研究計画　サブテーマ１：新規下水汚泥肥料量産化技術の開発

課題・未検討事項	研究計画	成果・目標
小型肥料化装置で得られた新規下水汚泥肥料の量産化技術が確立されていない	1年目～2年目 5m³規模での量産化試験を実施 ［使用汚泥:霧島市・鹿児島市］ 小型装置 1,000倍 量産化 5m³ 特願2020－110731	**量産化に対する目標** 小型肥料化装置で得られた成分特性[窒素等・重金属含有量]・肥料効果と同等
異なる処理場の脱水汚泥を用いた量産化試験が未実施		
新規下水汚泥肥料製造は好気条件の製造法と比べて2～3倍の日数が必要 ⇒製造日数の短縮化が必要	2年目～3年目 製造した新規下水汚泥肥料の一部(10～30%程度)を種汚泥として製造日数短縮化試験を実施	好気条件の製造法と同程度 ［目標値： 60日程度］
新規下水汚泥肥料の窒素高無機化率のメカニズムが不明	1年目～3年目 肥料中の窒素形態、菌叢解析 実施	窒素高無機化率のメカニズム解明 ⇒肥料製造・施肥の効率化へ活用
実用化に向けたコスト試算等が未検討	1年目～3年目 協力機関（日水コン、三州衛生公社）とともに肥料化コスト、販売価格の検討	肥料目標販売価格：20円/kg以下

3.研究目標及び研究計画　サブテーマ２：新規下水汚泥肥料を用いた茶栽培試験

課題・未検討事項	研究計画	成果・目標
新規下水汚泥肥料の最適な施肥割合が未検討	菜種油粕と新規下水汚泥肥料を用いた茶栽培試験	一番茶収量 582kg/10a以上 茶葉の品質 慣行区と同等以上 茶葉の重金属基準（Codex） 総ヒ素：2mg/kg　Pb：1mg/kg T - Hg：0.5mg/kg以下 茶園土壌重金属値 Zn：土壌管理基準：120mg/kg Cu：土壌環境基準：125mg/kg As：土壌環境基準：15mg/kg
新規下水汚泥肥料の効果的な施肥時期が未検討	新規下水汚泥肥料の施肥時期が異なる茶栽培試験	
新規下水汚泥肥料の地下水への影響が不明	ポーラスカップ（地中深さ1m）で浸透水を採水し、窒素・重金属量を定量	地下水汚染につながらないことを明らかにする（慣行施肥区と同等）
窒素・重金属成分のマテリアルフローが不明	幼木・成木に新規下水汚泥肥料を施肥し、土壌・茶樹に含まれる窒素・重金属量を定量	マテリアルフローの解明 ▼ 目標値：上記基準値または慣行区と同等以下
新規下水汚泥肥料の利用による肥料費削減効果が不明	栽培試験結果と肥料コストから試算	慣行施肥区と比較し、20%の肥料コスト削減

新規下水汚泥肥料の量産化試験

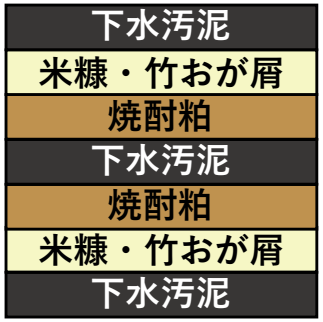
協力機関：株式会社三州衛生公社　施設内にて量産化試験実施

新規下水汚泥肥料

重機による切返し状況
（切返し以外は内部への酸素供給なし）

原料配合割合
（%乾物）

下水汚泥：40
竹おが屑：30
米糠　　：20
焼酎粕　：10



積み上げ概略図

- 計4回 量産試験を実施
- 切返し時に資材の物理化学性、菌叢解析を行い、肥料化完了の指標を検討
- 肥料登録を念頭に置き、植害試験を実施
- 新規下水汚泥肥料の肥料成分、重金属成分等を分析し、既存の肥料等と各種成分、肥料効果を比較。

量産化による再現性を確認

新規下水汚泥肥料の窒素無機化試験

目的：新規下水汚泥肥料の窒素の効き方を明らかにする

方法：新規下水汚泥肥料を茶園土壌に施用した条件で培養し、窒素無機化を調査する

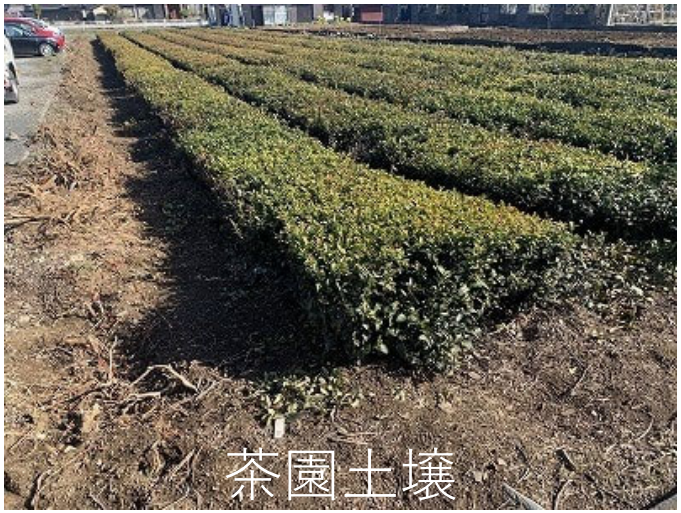
窒素無機化試験の概要

培養温度：20℃、30℃

土壌条件：茶園土壌

供試資材：新規下水汚泥肥料、牛糞堆肥、菜種油粕

培養期間：0日、3日、1週、2週、3週、4週、6週、9週、12週、15週、20週



茶園土壌の化学性

土壌	pH	無機態窒素 (mg/100g)	可給態窒素 (mg/100g)	CEC (meq)	可給態リン酸 (mg/100g)	交換性石灰 (mg/100g)	交換性カリ (mg/100g)
茶園土壌	4.2	1.43	14.3	53.5	130.2	40	24.6
一般畑土壌（参考）	6.4	0.27	2.3	31.8	11.9	321	13.5

- 茶園土壌の特徴：pHが低く、可給態窒素が高い。交換性石灰が少ない。

4.研究開発内容

サブテーマ１：新規下水汚泥肥料量産化技術の開発

異なる脱水汚泥を用いた新規下水汚泥肥料の調製

鹿児島市南部処理場から排出される石灰系下水汚泥を使用
凝集剤：石灰系凝集剤、脱水工程：ベルトプレス

石灰系下水汚泥

高分子系下水汚泥

新規下水汚泥肥料の肥料成分へ及ぼす影響を検討

新規下水汚泥肥料の製造日数短縮試験

① 量産化試験で調整した新規下水汚泥肥料を戻し肥料として全仕込み重量（乾物）の30%に用いた量産化試験

② 菌叢解析結果をもとに切返し回数を2回に削減した量産化試験

③ 発酵温度の経日変化に着目して、切返しまでの日数を短縮した量産化試験

4.研究開発内容　サブテーマ2：新規下水汚泥肥料を用いた茶栽培試験

● 新規下水汚泥肥料の最適配合割合の検討

実施場所：協力農家茶園（霧島市）

試験方法

供試材料：‘やぶきた’成木（定植後12年）

栽培間隔：二条植え・ちどり植え（50cm間隔）

栽培面積：18.0m^2(1.8m×10m)
個体数：42本

試験区　※アドバイザーの助言を受け、６→４試験区に変更

① 菜種油粕100％区（対照区1：慣行施肥区）

② 新規下水汚泥肥料50％+菜種油粕50％区

③ 新規下水汚泥肥料100％区

④ 配合肥料区　（対照区2）

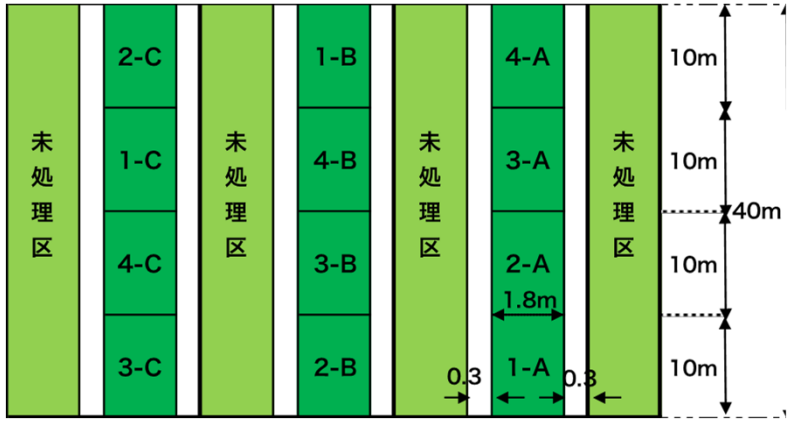
左記４条件を３反復

施肥時期：8月、10月、2月、3月、4月、5月、6月の7回（50kgN/年間）
新規下水汚泥肥料：8月・10月（最大5kgN/10a）、2月・3月(最大7kgN/10a)

収穫時期：一番茶：4月下旬～5月上旬、二番茶：6月中旬、秋番茶：10月中旬

調査項目：新葉数、 新芽長、全芽数、全芽重、出開度、収量、
茶葉成分（テアニン、カテキン、重金属等）、土壌成分（pH、重金属等）

栽培茶園



試験区配置図

4.研究開発内容　サブテーマ2：新規下水汚泥肥料を用いた茶栽培試験

- 新規下水汚泥肥料の効果的な施肥時期の検討

品種：やぶきた（成木園）　実施場所：鹿児島県農業開発総合センター圃場

試験区の構成

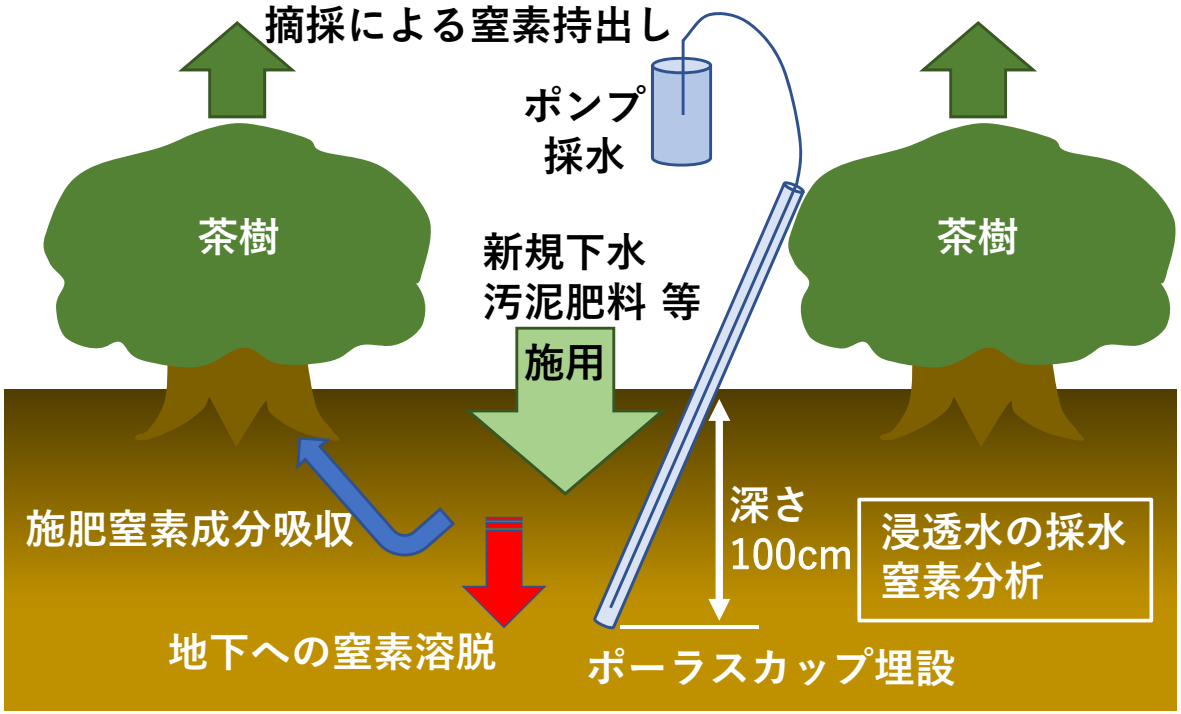
試験区	施肥時期	施肥窒素配分（kgN/10a）							年計
		秋肥(1)	秋肥(2)	春肥(1)	春肥(2)	芽だし	夏肥(1)	夏肥(2)	
		8月上旬	9月上旬	2月上旬	3月上旬	3月下旬	5月上旬	6月下旬	
1　秋肥区		5.0[a]	5.0[a]	7.0[c]	7.0[c]	8.0[d]	8.0[b]	10.0[c]	50.0
2　春肥区		5.0[b]	5.0[b]	7.0[a]	7.0[a]	8.0[d]	8.0[b]	10.0[c]	50.0
3　秋春肥区		5.0[a]	5.0[a]	7.0[a]	7.0[a]	8.0[d]	8.0[b]	10.0[c]	50.0
4　対照区		5.0[b]	5.0[b]	7.0[c]	7.0[c]	8.0[d]	8.0[b]	10.0[c]	50.0

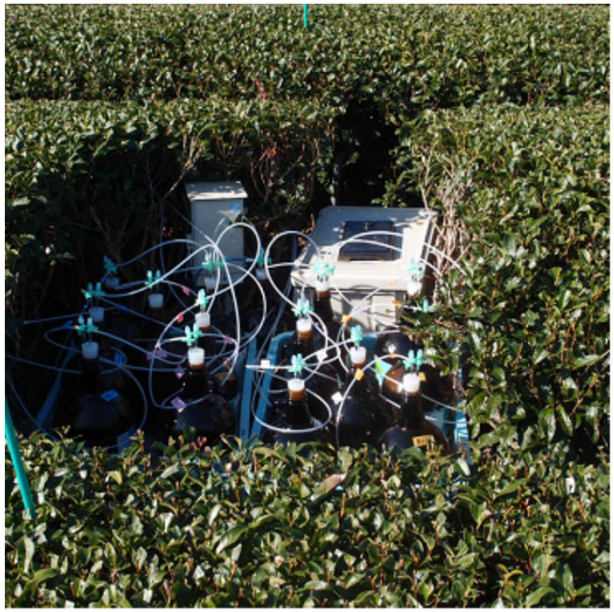
注）a：新規下水汚泥肥料(3.1-5.3-0.6)，b：有機配合(7-2-2)，c：有機配合(11-1-2)，
d：硫安（21-0-0）　※（　）内は（N-P_2O_5-K_2O)の現物値を示す.

- 試験規模：18m^2（1.8m×10m）　各試験区を3反復
- 調査項目：出開度、収量、摘芽中の成分、荒茶品質、土壌化学性

4.研究開発内容　サブテーマ2：新規下水汚泥肥料を用いた茶栽培試験

新規下水汚泥肥料の地下水への窒素溶脱量の評価



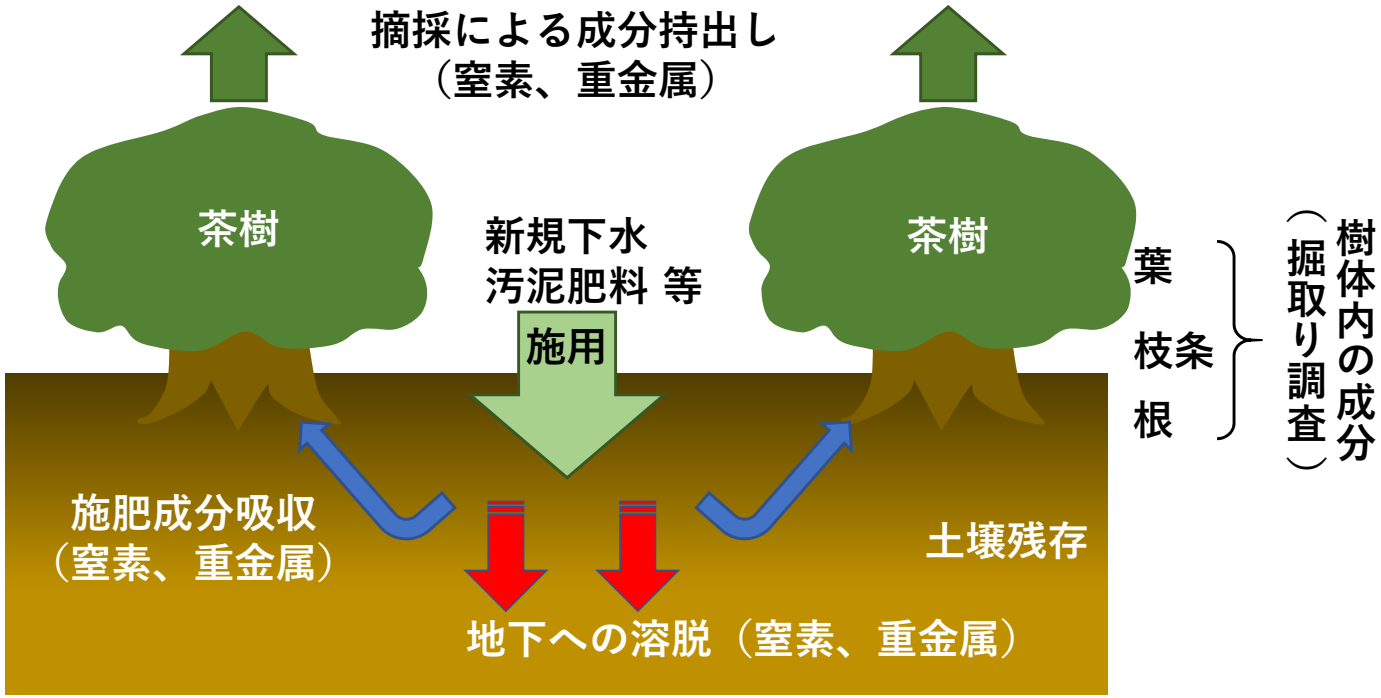


土壌からの窒素溶脱は降雨量の多い時期（梅雨、台風時など）に集中

- 各試験区（秋肥区、春肥区、秋春肥区、対照区）にポーラスカップを埋設後、降雨に合わせて採水し、浸透水の窒素分析を実施。
  各試験区の窒素溶脱量を比較し、新規下水汚泥肥料の環境への影響を検討

4.研究開発内容　サブテーマ2：新規下水汚泥肥料を用いた茶栽培試験

窒素・重金属成分のマテリアルフロー解析



栽培試験風景（幼木）

定植時(2020.11.6)

【成木試験】 4試験区（秋肥区、春肥区、秋春肥区、対照区）
各試験区の茶葉、土壌、浸透水の窒素・重金属成分分析
栽培試験最終年度（2022年度）に樹体を掘取り
葉・枝条・根の窒素・重金属成分分析

【幼木試験】 5試験区（新規下水汚泥肥料区、既存下水汚泥肥料区、慣行施肥資材区、有機質肥料区、慣行体系区（ロング肥料活用））
仕立て剪除時の枝条、土壌、掘取り樹体（葉・枝条・根）の窒素・重金属成分分析

4.研究開発内容

サブテーマ1・2　共通

新規下水汚泥肥料の事業化に向けた検討

① 地域バイオマスの賦存量調査

量産化試験で用いた資材の配合割合をもとに、原料の安定的な調達可能性を各原料の賦存量から検討。賦存量の調査範囲は鹿児島県を対象。

② 新規下水汚泥肥料販売価格と肥料削減効果の検討

新規下水汚泥肥料の販売価格を原料費や製造施設、人件費等をもとに試算。また試算した販売価格から新規下水汚泥肥を茶栽培に適用した場合の1haあたりの肥料費削減効果を検討。

③ 新規下水汚泥肥料のマテリアルフロー分析（MFA）

霧島市の茶畑面積(297.5ha）を基準として、下水汚泥・地域バイオマスの使用量を算出。そこから得られる新規下水汚泥肥量をもとに下水汚泥の利用率と肥料費削減効果、温室効果ガス排出量を試算した。

④ 新規下水汚泥肥料の販路調査と普及に向けた検討

下水道資源利活用促進のためのイベント（BISTRO下水道 in 霧島・鹿児島高専）を2021年12月22日に開催した。イベント終了時に来場者に対して、アンケート調査を行い、普及に向けた情報を収集した。

新規下水汚泥肥料の量産化試験

新規下水汚泥肥料の成分特性

肥料	pH	C/N比	N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	Cd	Pb	As	T-Hg	Ni	Cr	粗繊維
			(乾物%)					(mg/kg 乾物)						(乾物%)
新規下水汚泥肥料（目標値）（小型肥料化装置調製値）	7.5	11.0	4.0	3.2	1.5	0.4	0.9	0.3	3.8	2.6	N.D.	4.7	8.9	43.9
新規下水汚泥肥料（1回目）	7.2	11.0	3.6	3.2	1.2	0.4	0.8	0.2	1.5	N.D.	0.19	3.8	3.6	-
（2回目）	7.1	11.0	3.9	3.1	1.0	0.3	0.4	0.2	2.1	N.D.	0.11	4.3	4.1	33.6
（3回目）	7.2	11.0	3.7	2.6	1.1	0.3	0.5	0.2	1.0	1.0	0.03	4.1	3.7	31.1
（4回目）	7.3	12.0	3.8	3.6	1.3	0.4	0.7	0.2	2.1	1.7	0.05	3.9	3.7	33.3
下水汚泥肥料(A)*	8.4	6.7	4.4	5.8	0.7	11.7	1.0	0.9	11.0	7.8	0.5	31.8	25.2	9.7
下水汚泥肥料(B)*	7.7	7.6	3.8	5.3	0.2	8.4	0.9	1.4	15	5.0	0.38	13.0	36.0	-
牛糞堆肥**	7.0	16.4	1.9	3.2	4.3	1.4	1.2	N.D.	1.0	0.5	N.D.	3.2	1.9	39.4
配合肥料1***	7.4	1.0	13.2	2.2	2.4	1.7	5.5	0.4	N.D.	N.D.	0.04	77.5	565	2.5
配合肥料2***	6.6	3.1	7.8	3.9	2.5	2.7	5.0	0.9	1.1	N.D.	0.05	32.9	786	4.5

＊市販されている下水汚泥肥料　＊＊牛糞、油粕などを混合して調製された堆肥　＊＊＊配合肥料1，2　茶栽培で利用される一般的な有機配合肥料

N.D.：検出限界値以下　ー：測定無し

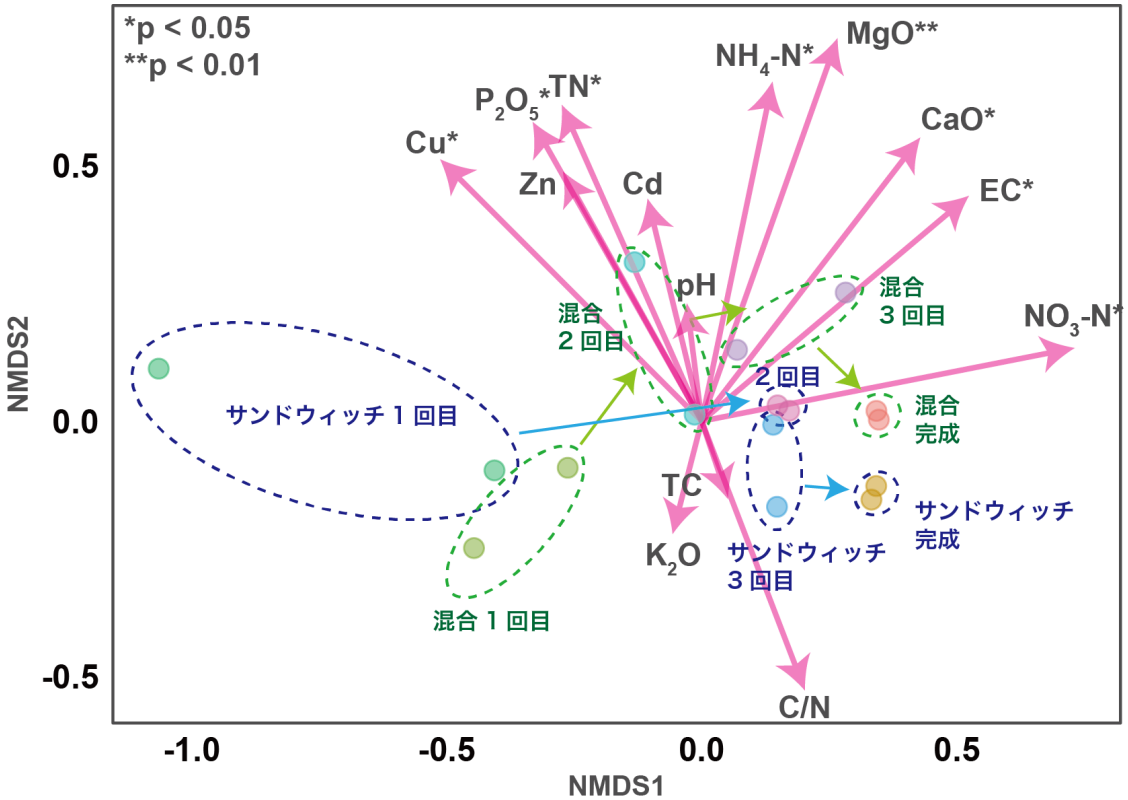
- 量産化した新規下水汚泥肥料の成分は小型肥料化装置（目標値）と同程度
- 重金属量は既存の下水汚泥肥料と比較して低く、牛糞堆肥、配合肥料と同レベル
- 量産化試験（1～4回目）の新規下水汚泥肥料を比較すると、肥料の品質の確保等に関する法律に規定さている主要成分（窒素全量、リン酸全量、カリ全量）の誤差許容基準±20%を全ての成分で満足

顧客ニーズにあった成分特性を有する肥料を調製することができ、再現性も確認できた。

新規下水汚泥肥料の菌叢解析

・新規下水汚泥肥料（混合）：切返し1回目、2回目、3回目、完成
・新規下水汚泥肥料（サンドウィッチ）：切返し1回目、2回目、3回目、完成

各資材から２反復ずつ採取し、16S rRNA遺伝子解析を実施



新規下水汚泥肥料の優占100種のNMDS解析結果

- 新規下水汚泥肥料（サンドウィッチ）：2回目と3回目で優占種の菌叢が類似

➡ 切返し回数が１回分（約30日）短縮できる可能性を示唆
（製造日数短縮の可能性）

新規下水汚泥肥料の植害試験

（上段：新規下水汚泥肥料、下段：市販の下水汚泥肥料）

供試肥料区、対照肥料区： 各肥料中のN量を100～400mg/ポットに固定。加えて、化学肥料を25mg/ポット添加。

新規下水汚泥肥料の植害なし

供試作物の種類及び品種

種類：コマツナ

品種：極楽天

発芽率

対照肥料区（発芽率：90～100％）と比較して同等

葉長・生体重

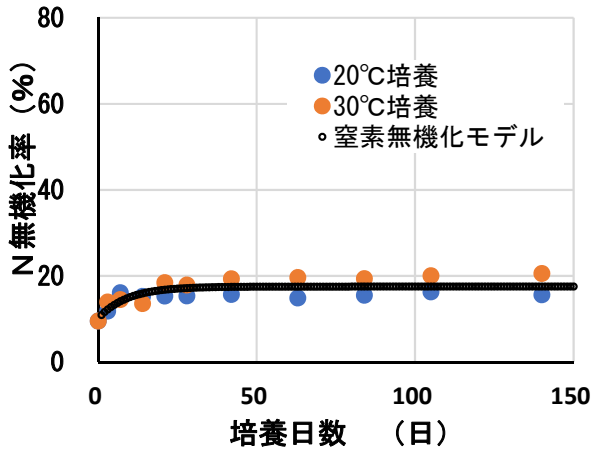
標準区、対照肥料区と比較して、施肥量の増加に合わせて生体重指数が増加

植物の成長促進効果を示唆

新規下水汚泥肥料の窒素無機化試験

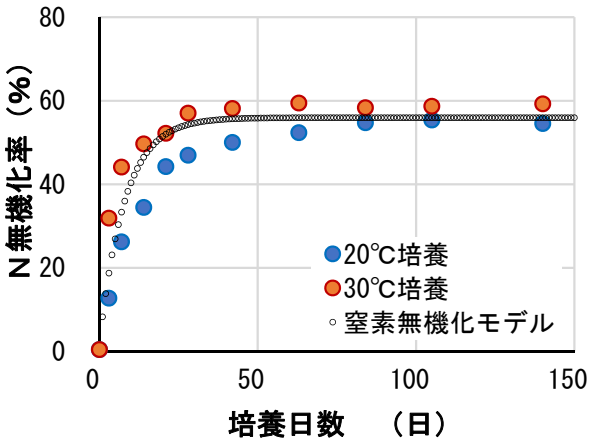
新規下水汚泥肥料は、どのような特徴をもつ肥料なのか？

茶園土壌で施用したときの窒素の効き方について、代表的な有機物と比較した。



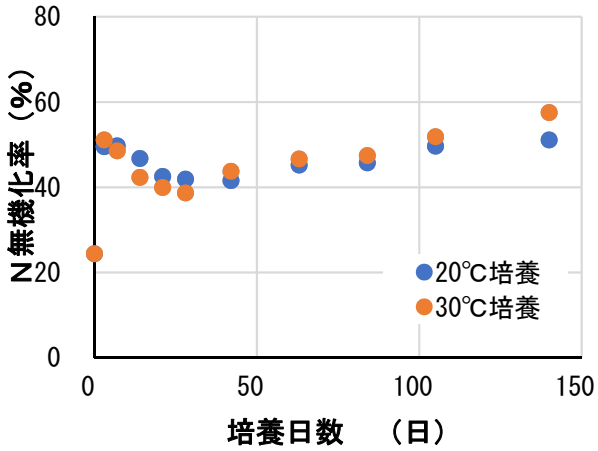
牛糞堆肥

- 硝酸態窒素を10.2%含む
- 易分解性の窒素は7.4%
- 窒素肥料的効果は小さく、土づくり資材として施用



菜種油粕

- 無機態窒素を殆ど含まない 1.95%
- 易分解性の有機態窒素は 54.0%
- 窒素の肥料的効果は大きいが、窒素無機化速度は地温で変わる



新規下水汚泥肥料

- アンモニア態窒素を47.4%含む
- 易分解性の有機態窒素は 12.2%
- 速効性のアンモニア態窒素、有機態窒素を含む茶栽培に適した肥料

注１）窒素は、無機態窒素と有機態窒素に分けられる。
２）無機態窒素は作物がすぐ利用できる窒素で、硝酸態窒素とアンモニア態窒素がある。一般に作物は硝酸態窒素を利用するが、茶はアンモニア態窒素も吸収する。硝酸態窒素は降雨等で流されやすい欠点がある。
３）有機態窒素は土壌微生物によって無機化され、無機態窒素となって作物に吸収利用される。無機化速度は温度依存性。

異なる脱水汚泥を用いた新規下水汚泥肥料の調製

新規下水汚泥肥料の成分特性

肥料	pH	C/N比	N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	Cd	Pb	As	T-Hg	Ni	Cr	粗繊維
			(乾物%)					(mg/kg 乾物)						(乾物%)
新規下水汚泥肥料（目標値）（小型肥料化装置調製値）	7.5	11.0	4.0	3.2	1.5	0.4	0.9	0.3	3.8	2.6	N.D.	4.7	8.9	43.9
新規下水汚泥肥料														
鹿児島市石灰系汚泥	7.7	12.0	2.7	3.0	0.9	8.2	0.9	0.3	N.D.	1.3	0.04	16.0	18.0	20.9
霧島市高分子汚泥（1回目）	7.2	11.0	3.6	3.2	1.2	0.4	0.8	0.2	1.5	N.D.	0.19	3.8	3.6	-
（2回目）	7.1	11.0	3.9	3.1	1.0	0.3	0.4	0.2	2.1	N.D.	0.11	4.3	4.1	33.6
（3回目）	7.2	11.0	3.7	2.6	1.1	0.3	0.5	0.2	1	1.0	0.03	4.1	3.7	31.1
（4回目）	7.3	12.0	3.8	3.6	1.3	0.4	0.7	0.2	2.1	1.7	0.05	3.9	3.7	33.3

N.D.：検出限界値以下　　ー：測定無し

- 石灰系汚泥肥料は高分子系汚泥肥料より、全窒素量が1%以上低い
- 植害試験結果は、「植害なし」
- 石灰系汚泥肥料は、カルシウム、ニッケル、クロムを多く含む
- 石灰系汚泥肥料の茶栽培への利用は土壌pHの急激な上昇を考慮する必要がある

下水汚泥の脱水方法の違いは、新規下水汚泥肥料の肥料成分に大きく影響を及ぼす

新規下水汚泥肥料の製造日数短縮試験

新規下水汚泥肥料の成分特性

肥料	pH	C/N比	N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	Cd	Pb	As	T-Hg	Ni	Cr	粗繊維
			(乾物%)					(mg/kg 乾物)						(乾物%)
新規下水汚泥肥料（目標値）（小型肥料化装置調製値）	7.5	11.0	4.0	3.2	1.5	0.4	0.9	0.3	3.8	2.6	N.D.	4.7	8.9	43.9
新規下水汚泥肥料														
霧島市高分子汚泥（1回目）	7.2	11.0	3.6	3.2	1.2	0.4	0.8	0.2	1.5	N.D.	0.19	3.8	3.6	-
（2回目）	7.1	11.0	3.9	3.1	1.0	0.3	0.4	0.2	2.1	N.D.	0.11	4.3	4.1	33.6
（3回目）	7.2	11.0	3.7	2.6	1.1	0.3	0.5	0.2	1	1.0	0.03	4.1	3.7	31.1
（4回目）	7.3	12.0	3.8	3.6	1.3	0.4	0.7	0.2	2.1	1.7	0.05	3.9	3.7	33.3
新規下水汚泥肥料（製造日数短縮）														
①戻し肥料30%使用	7.4	11.0	3.4	3.8	1.4	0.6	0.7	0.3	3.2	2.0	0.06	8.2	10	28.9
②切返し2回目で完成	7.6	13.0	3.5	2.9	1.1	0.4	0.5	0.2	1.7	1.1	0.03	5.1	3.7	36.4
③切返しまでの日数短縮	7.1	12.0	3.4	4.0	1.2	0.5	0.8	0.3	2.7	1.8	0.07	4.5	4.3	32.7

N.D.：検出限界値以下　　ー：測定無し

- 製造日数：①戻し肥料30%使用 71日、②切返し2回目で完成 60日、
  ③切返しまでの日数短縮 63日
- 各短縮試験で得られた肥料は量産化試験で得られた肥料と比較して、
  主要成分（窒素全量・リン酸全量・カリ全量）が誤差の許容基準(±20%)を満たした。

製造日数の目標値(60日）を達成することに成功

5.研究成果（5-1. 成果の概要）サブテーマ2：新規下水汚泥肥料を用いた茶栽培試験

● 新規下水汚泥肥料の最適施肥割合の検討

一番茶の収量、茶葉成分、茶葉重金属含有量

試験区	収量（10a）	茶葉成分			茶葉重金属含有量					
	一番茶	全窒素	遊離アミノ酸	テアニン	As	T-Cr	Ni	Cd	Pb	T-Hg
	(kg)	(乾物%)			(mg/kg乾物)					
1 慣行施肥区	630 ± 19 b	5.2 ± 0.3	3.4 ± 0.3	1.8 ± 0.2	N.D.	0.7 ± 0.27	4.2 ± 0.2	N.D.	0.2 ± 0.1	N.D.
	450 ± 32	5.4 ± 0.1	3.5 ± 0.1	1.8 ± 0.1	N.D.	0.31 ± 0.11	4.3 ± 0.3	N.D.	0.1 ± 0.1	N.D.
2 新規下水汚泥肥料（50%）区	620 ± 36 b	5.1 ± 0.2	3.4 ± 0.2	1.8 ± 0.1	N.D.	0.6 ± 0.20	3.9 ± 0.4	N.D.	N.D.	N.D.
	461 ± 32	5.2 ± 0.1	3.3 ± 0.2	1.7 ± 0.2	N.D.	0.24 ± 0.06	4.7 ± 0.2	N.D.	0.1 ± 0.1	N.D.
3 新規下水汚泥肥料（100%）区	667 ± 31 ab	5.2 ± 0.1	3.3 ± 0.1	1.7 ± 0.1	N.D.	0.89 ± 0.31	4.6 ± 0.4	N.D.	N.D.	N.D.
	494 ± 22	5.2 ± 0.1	3.3 ± 0.2	1.7 ± 0.1	N.D.	0.35 ± 0.12	5.3 ± 1.2	N.D.	0.1 ± 0.1	N.D.
4 配合肥料区	717 ± 27 a	5.2 ± 0.1	3.5 ± 0.1	1.8 ± 0.1	N.D.	0.41 ± 0.10	3.9 ± 0.1	N.D.	N.D.	N.D.
	511 ± 60	5.5 ± 0.1	3.4 ± 0.3	1.8 ± 0.1	N.D.	0.31 ± 0.10	5.0 ± 0.7	N.D.	0.1 ± 0.1	N.D.

＊ 平均値±標準偏差を示す．Tukeyの多重比較により5%水準で有意差あり（N=3）．　上段：2021年度　下段：2022年度

【収量】
- 新規下水汚泥肥料施肥区の収量は慣行施肥区と有意差なし
- 2021年収量は目標値(582kg/10a) 以上

※2022年収量は、2021年10月に茶園更新作業を実施したため、目標値との比較対象外

【主要成分】
- 試験区間の有意差なし

【茶葉中の金属・重金属】 Codex基準（As : 2mg/kg　Pb : 1mg/kg　T - Hg : 0.5mg/kg以下）

- 全試験区でAs、Cd、T-Hgは検出なし。試験区間の有意差なし

新規下水汚泥肥料の施肥による茶葉の収量、品質への影響は現段階では認められず、菜種油粕全量（100%）を新規下水汚泥肥料に置換することが可能

新規下水汚泥肥料の効果的な施肥時期の検討

一番茶の収量、茶葉成分、茶葉重金属含有量

試験区	収量（10a）	茶葉成分		茶葉重金属含有量					
	一番茶	全窒素	遊離アミノ酸	Cd	Pb	As	T-Hg	Ni	Cr
	（kg）	（乾物%）		（mg/kg乾物）					
秋肥区	481	5.6	4.5	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.01未満	3.8	0.1未満
	378	6.0	4.7	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.01未満	5.7	0.1未満
春肥区	441	5.6	4.4	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.01未満	3.8	0.1未満
	327	6.1	4.4	0.1未満	0.21	0.1未満	0.01未満	4.5	0.1
秋春肥区	430	5.6	4.3	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.01未満	4.1	0.1未満
	350	6.0	4.2	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.01未満	4.4	0.1未満
対照区	433	5.4	4.0	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.01未満	4.2	0.1未満
	351	6.0	4.3	0.1未満	0.21	0.1未満	0.01未満	4.4	0.1
分散分析	ns	ns	ns					ns	
	ns	ns	ns					ns	

注１）ns;p>0.05を示す。　　上段：2021年度　下段：2022年度

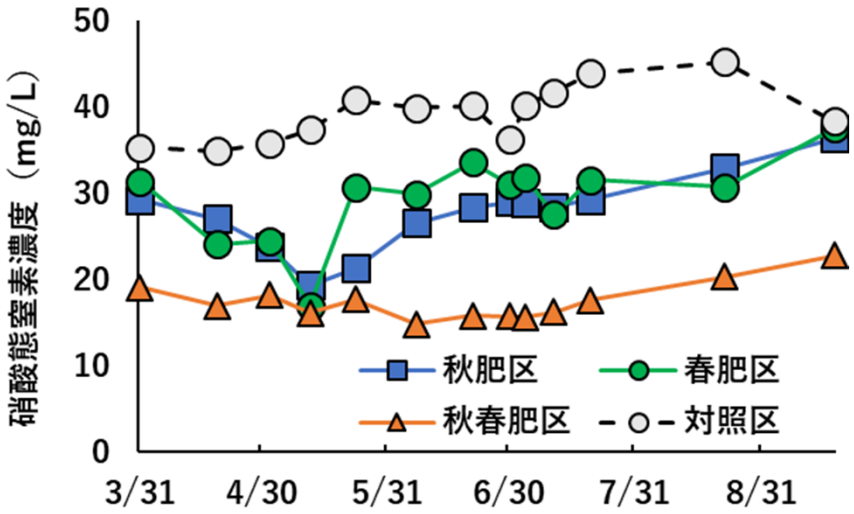
【一番茶収量】

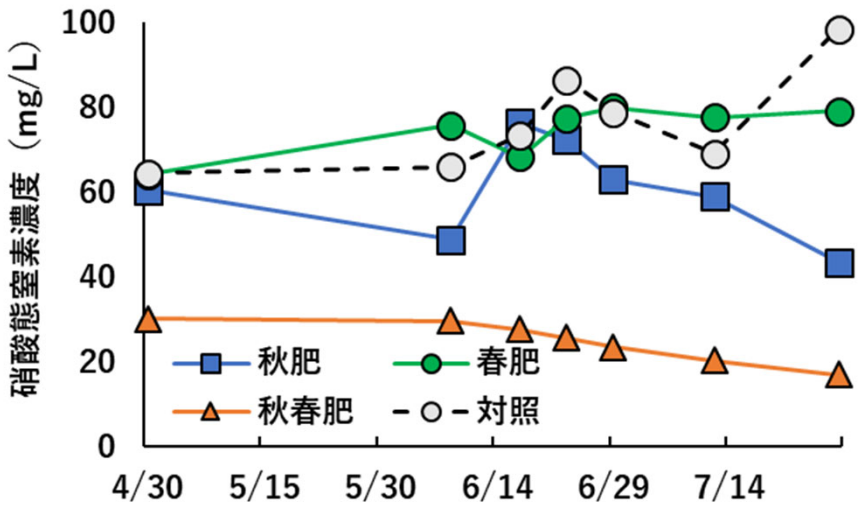
- 試験区間で有意差は見られなかったが、秋肥区が最も多くなる傾向
- やや早い摘採（出開度：56～63%）のため、収量は全試験区で目標値(582kg/10a)以下

【茶葉中の成分・重金属含有量】
- 試験区間の有意差なし

新規下水汚泥肥料は秋肥資材としての施用が特に効果的

新規下水汚泥肥料の地下水への窒素溶脱量の評価





茶園土壌浸透水の硝酸態窒素濃度の推移（左：2021年度、右：2022年度）

- 対照区（有機配合肥料使用）と比較すると、
  新規下水汚泥肥料を用いた試験区の硝酸態窒素濃度が低くなる傾向が見られた。
- 特に秋肥、春肥に新規下水汚泥肥料を用いることが、より効果的であった。

新規下水汚泥肥料は有機配合肥料に比べ、窒素溶脱量が少なく、環境負荷が小さいことが示唆された。

茶樹の重金属成分等のマテリアルフロー解析

各試験区における資材からの重金属施用量（2年間合計）

（g/10a・2year）

試験区	Cd	Pb	As	Hg	Ni	Cr
秋肥	0.35	0.95	0.00	0.11	51.3	360
春肥	0.57	1.74	0.00	0.19	39.8	433
秋春肥	0.39	2.37	0.00	0.26	32.2	201
対照	0.52	0.31	0.00	0.03	58.9	592

茶樹における重金属の現存量（成木全体）

（g/10a）

試験区	Cd	Pb	As	Hg	Ni	Cr
秋肥	0.97	13.9	2.11	0.12	8.8	4.6
春肥	0.45	8.3	1.05	0.06	7.0	4.2
秋春肥	0.46	5.5	0.84	0.04	6.7	7.4
対照	0.46	4.9	0.65	0.02	6.1	5.3

茶樹土壌における重金属の現存量

（g/10a）

試験区	Cd	Pb	As	Hg	Ni	Cr
秋肥	45	4,133	1,240	17	3,272	65,436
春肥	41	3,788	1,205	24	2,927	86,100
秋春肥	48	3,788	1,102	24	2,996	65,436
対照	34	4,133	1,137	24	2,652	65,436

- 【幼木：Cd吸収率】
  慣行肥料（有機配合肥料）：18%
  新規下水汚泥肥料：6%

- 【成木：重金属施用量】
  新規下水汚泥肥料の施用量が最も多い秋春肥区のPb、Hg施用量は、対照区と比較し、Pbで7.5倍、Hgで9.2倍であった。

- 【成木：茶樹の重金属現存量】
  地上部と地下部の現存量は、Cd、Crは地上部に多く、Hgは地下部に多かった。
  重金属施用量と茶樹の重金属現存量には試験区間での相関は見られなかった。

- 【土壌・浸透水の重金属含有量】
  新規下水汚泥肥料を用いた試験区と対照区で有意差なし。

新規下水汚泥肥料の施用
茶樹、茶園土壌に対する重金属蓄積に及ぼす影響は小さい

地域バイオマスの賦存量と新規下水汚泥肥料製造

賦存量と茶栽培1haあたりに必要な各種バイオマス量

資材（トン乾物）		下水汚泥（脱水汚泥）	竹おが屑	米糠	焼酎粕
賦存量		14,210	52,000	7,396	14,190
1haでの必要量*	120kgN/年	1.28 (0.009%)	0.96 (0.002%)	0.64 (0.009%)	0.32 (0.002%)
	240kgN/年	2.56 (0.018%)	1.92 (0.004%)	1.28 (0.017%)	0.64 (0.004%)

240kgN/年/ha施肥した場合：県内茶栽培面積（8,300ha）の約7割

120kgN/年/ha施肥した場合：県内全面積を網羅できる賦存量

- 新規下水汚泥肥料の**年間製造量を1,000トン**（鹿児島県霧島市の**茶園148.8ha**（霧島市の茶栽培面積の約25%）に**240kgN/ha/年**施肥可能な量）とし、製造設備を建設し、事業化コストを試算→新規下水汚泥肥料の**販売価格を20円/kg（目標額）**とすることが可能

1haあたりの肥料費

試験区	秋肥（1）	秋肥（2）	春肥（1）	春肥（2）	芽出し	夏肥（1）	夏肥（2）	1hあたりの肥料費
	（千円）							
1 慣行施肥区	74 a	74 a	103 a	103 a	17 e	85 c	85 d	541
2 新規下水汚泥肥料（50%）区	53 ab	53 ab	74 ab	74 ab	17 e	85 c	85 d	442
3 新規下水汚泥肥料（100%）区	32 b	32 b	45 b	45 b	17 e	85 c	85 d	343
4 配合肥料区	61 c	61 c	60 d	60 d	17 e	85 c	85 d	429

注1）a：菜種油粕 78円/kg、b：新規下水汚泥肥料 20円/kg、c：有機配合肥料A 85.1円/kg、 d：有機配合肥料B 93.9円/kg、 e：硫安 45.9円/kg

新規下水汚泥肥料
販売価格：20円/kg

▼

菜種油粕100%を
新規下水汚泥肥料に置換

▼

36.6%の肥料費の削減
（目標値：20%）

新規下水汚泥肥料のマテリアルフロー分析

新規下水汚泥肥料を菜種油粕の代替として霧島市の茶園295.7ha（霧島市の茶栽培面積の50%）に240kgN/ha/年施肥した場合

【例：霧島市】

INPUT [t-wet/年]

3,109

999

518

245

肥料化

OUTPUT

新規下水汚泥肥料
2,231 t-wet/年

温室効果ガス排出量
626.2 t-CO_2/年

OUTCOME

菜種油粕の100%を
新規下水汚泥肥料に置換

霧島市の茶畑面積
297.5haへ施肥可能

肥料費36. 6 %削減

霧島市で発生する
下水汚泥の約97%利用可能

INPUT [t-wet/年]

3,109

焼却

OUTPUT

建設資材：621.8 t
（セメント原料等）

温室効果ガス排出量
1,399.8 t-CO_2/年

肥料化すると
CO_2発生量を
55.3%
削減

5.研究成果（5-2. 環境政策等への貢献）

【重点課題⑩】地域循環共生圏形成に資する廃棄物処理システムの構築に関する研究・技術開発

【行政ニーズ3-5】地域循環共生圏の形成に向けたバイオマス廃棄物等を対象とした処理プロセスのより一層の高度化に関する研究

新規下水汚泥肥料の肥料特性を最大限活用できる茶栽培へ適用する

第一次・第二次産業

地域バイオマス →

環境産業

→ 新規下水汚泥肥料

地域一大産業

環境産業を中心に地域の第一次・第二次産業と地域の一大産業（茶栽培）を結び付ける

地域循環共生圏形成

新規下水汚泥肥料は、食品廃棄物（焼酎粕）や竹資材といった鹿児島県特有のバイオマスを活用している。これにより、下水汚泥処理システムに、茶栽培のみならず酒造メーカー、林業といった、第一次・第二次産業を巻き込んだ地域循環共生圏を創出できる。

〈行政等が既に活用した成果〉2022年度の鹿児島県の「普及情報」として活用

2022年12月 食料安定供給・農林水産業基盤強化本部が食料安全保障強化政策大綱を決定。下水汚泥資源の肥料利用を拡大し、肥料の国産化や安定化を確保するための対策を実施すると記載→本研究成果が今後活用される可能性あり

5.研究成果（5-3. 研究目標の達成状況）

全体目標

達成状況：目標を上回る成果をあげた

- **新規下水汚泥肥料の量産化：**
  新規下水汚泥肥料の量産化試験、窒素無機化試験及び植害試験を通して、肥料の主要成分の再現性（肥料の品質の確保等に関する法律の誤差許容基準（±20%）以内）、安全性等を確認。また、肥料登録を行い、市場に流通可能な肥料の量産化技術を確立した。
- **新規下水汚泥肥料を用いた茶栽培試験：**
  新規下水汚泥肥料を茶栽培に適用し、従来の有機質資材（菜種油粕）や有機配合肥料と収量、品質とも遜色ない結果を得ることができた。
- **肥料費削減効果：**
  新規水汚泥肥料を菜種油粕の代替として、1haあたり240kgN/年利用すると、肥料費を36.6%削減可能。（目標値20%より大幅な削減が可能）
- **鹿児島県の普及情報への採用：**
  本研究成果が普及情報として、県のWEBサイト上で公開された。当初目標にない成果
- **コンソーシアムの形成：**
  本研究成果を社会実装化するための「鹿児島県新下水汚泥肥料活用促進コンソーシアム」を産学官で設立した。当初目標にない成果

5.研究成果（5-3. 研究目標の達成状況）

サブテーマ１：新規下水汚泥肥料量産化技術の開発

達成状況：目標を上回る成果をあげた

- 新規下水汚泥肥料の量産化：顧客ニーズにあった成分特性を有する肥料を調製することができ、再現性も確認
- 製造日数の短縮：発酵温度の経日変化と菌叢解析結果を反映させ、目標値60日を達成
- 新規下水汚泥肥料の特性：速効性のアンモニア態窒素、有機態窒素を含む茶栽培に適した肥料であることを窒素無機化パターンから解明
- 肥料登録：実装化を見据え、植害試験等の結果をもとに登録。当初目標にない成果
- 成長促進効果：植害試験の結果を新規下水汚泥肥料には作物に対する成長促進効果が示唆された。　当初目標にない成果
- 肥料販売価格：新規下水汚泥肥料を年間1,000トン規模で製造することで、目標値20円/kgで販売可能。
- 肥料費削減：茶園に新規水汚泥肥料を240kgN/ha/年 施肥すると、当初の肥料費削減率の目標値である20%を大きく上回る36.6%の削減が可能。

5.研究成果（5-3. 研究目標の達成状況）

サブテーマ2：新規下水汚泥肥料を用いた茶栽培試験

達成状況：目標通りの成果をあげた

- 新規下水汚泥肥料を用いた茶栽培：収量性、茶葉品質から慣行施肥区と同等以上の成果が得られ、菜種油粕の代替肥料として100%利用可能
- 施肥時期の検討：新規下水汚泥肥料を秋肥、春肥および秋肥・春肥として利用可能
- 茶園土壌中の金属・重金属含有量：新規下水汚泥肥料の茶園土壌への影響なし
- 新規下水汚泥肥料の窒素溶脱：新規下水汚泥肥料は窒素溶脱が少なく、有機配合肥料と比較して、環境に優しい肥料である。
- 窒素・重金属成分のマテリアルフロー分析：茶樹、茶園土壌に対する重金属蓄積の影響は少ない。慣行施肥区と同等
- 茶栽培への肥料費削減効果：茶園に新規水汚泥肥料を240kgN/ha/年 施肥すると、当初の肥料費削減率の目標値である20%を大きく上回る36.6%の削減が可能。

6. 研究成果の発表状況

（1）誌上発表

＜査読付き論文＞

【サブテーマ1】

1) K.Kuroda,T.Katahira,M.Yamada,I.Uezono,N.Nakamura,T.Yamaguchi,M.Yamauchi: Bioresource Technology Reports,22 101401(2023)
「Co-composting of sewage sludge with plant biomass, and analysis of microbiome relevant to plant growth promotion.」

2) 片平智仁、原田隆大、潟龍平、上薗一郎、中村憲知、山田真義、黒田恭平、碇智、山口隆司、山内正仁：土木学会論文集G（環境）、78(7)、 Ⅲ_223-Ⅲ_231（2022）
「新規下水汚泥肥料の量産化技術の開発と茶栽培への適用」

【サブテーマ２】

1) 山内正仁、原田隆大、山田真義、潟龍平、黒田恭平、片平智仁、碇智、山口隆司：土木学会論文集G（環境）、77(7)、Ⅲ_161-Ⅲ_168（2021）
「下水汚泥肥料およびマッシュルーム廃菌床の茶栽培への適用」

（2）本研究費の研究成果による受賞

1) 原田隆大：下水汚泥肥料を用いた茶栽培試験に関する研究、「優秀発表賞」、日本水環境学会九州沖縄支部、2021年3月16日　（原田隆大、潟龍平、山田真義、片平智仁、山内正仁）

2) 鹿児島工業高等専門学校、鹿児島県農業開発総合センター、産業技術総合研究所、（株）日水コン、（株）三州衛生公社：下水汚泥と地域バイオマス廃棄物を活用した肥料の開発、「第49回環境賞/優良賞」日刊工業新聞社、2022年5月10日

3) 潟龍平：Mass production test of new sewage sludge fertilizer for practical use and its adaptation to tea cultivation,「7th STI-Gigaku 2022 Best Research Presentation Award by Sumitomo Riko Company, (R.Gata,H.Shido,T.Katahira,M.Yamada,K.Kuroda,R.Harada,T.Yamaguchi and M.Yamauchi）, 2022年11月18日

4) 山内正仁、原田隆大、山田真義、潟龍平、黒田恭平、片平智仁、碇智、山口隆司：下水汚泥肥料およびマッシュルーム廃菌床の茶栽培への適用、「第58回環境工学研究フォーラム論文賞」、土木学会環境工学委員会 2022年11月29日

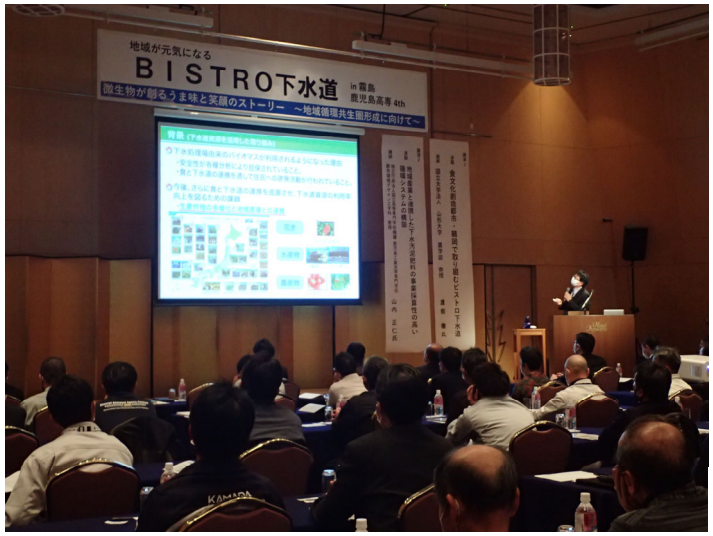
6. 研究成果の発表状況

（3）「国民との科学・技術対話」の実施

1) BISTRO下水道 in 霧島 鹿児島高専 4th （主催：鹿児島工業高等専門学校、2021年12月22日、定員100名に対し、参加者130名、ホテル京セラ）で、研究成果の発信、パネルディスカッション実施

2) New環境展（主催：日報ビジネス、2022年5月25～27日、来場者67402人、東京ビックサイト）に参加し、来場者と意見交換

3) ビストロ下水道研究発表会 in 鶴岡（共催：鶴岡市、山形大学農学部、2022年8月23日、参加者150名（会場：90名、オンライン：60名、山形大学農学部301講義室）で、研究成果の発信、パネルディスカッション実施



BISTRO下水道開催風景

発表件数等一覧

査読付き論文	3件
査読付き論文に準ずる成果発表	0件
その他誌上発表（査読なし）	4件
口頭発表（学会等）	17件
「国民との科学・技術対話」の実施	3件
マスコミ等への公表・報道等	11件
本研究費の研究成果による受賞	4件
その他の成果発表	7件

9 産業と技術革新の基盤をつくろう

12 つくる責任 つかう責任

ご清聴ありがとうございました

15 陸の豊かさも守ろう

2 飢餓をゼロに

11 住み続けられるまちづくりを